

## Vorlesung Multiagentensysteme

# 5. VERHANDLUNGSMODELLE

## Grundlegende Fragestellung

- Wir betrachten kollektive Entscheidungsprozesse: Wie können mehrere selbstinteressierte Agenten sich auf ein gemeinsames Vorgehen einigen?
- Hierbei betrachten wir in diesem Kapitel unterschiedliche Szenarien:
  - Gemeinsame Auswahl einer Alternative (z.B. Kanzlerwahl)
  - Allokation einer gemeinsam genutzten Ressource (z.B. Auktion)
  - Lösung einer gemeinsamen Aufgabe (Wer macht was?)

	<b>SIEMENS</b>
<b>CORPORATE TECHNOLOGY</b>	<p style="text-align: center;"><b>Mechanismen zur kollektiven Entscheidungsfindung</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Einigung durch Abstimmung (Voting)</li><li>• Einigung durch Auktionen</li><li>• Einigung durch Verhandlung</li><li>• Einigung durch Argumentation (wird hier nicht weiter betrachtet)</li></ul> <p style="text-align: right;"><small>© Siemens AG - all rights reserved - J. Müller, 2003</small></p>

	<b>SIEMENS</b>
<b>CORPORATE TECHNOLOGY</b>	<p style="text-align: center;"><b>6.1 Design von Mechanismen zur Entscheidungsfindung in Multiagentensystemen</b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>• Interaktionen zwischen Agenten werden beschrieben durch einen Mechanismus oder Protokoll</li><li>• Der Mechanismus definiert die Spielregeln</li><li>• Das Design von Interaktionsmechanismen beschäftigt sich mit der Frage, wie Mechanismen definiert sein müssen, um bestimmte wünschenswerte Eigenschaften zu bieten</li><li>• Wir beginnen mit einer allgemeinen Betrachtung dieser wünschenswerter Eigenschaften von Interaktionsmechanismen in MAS</li></ul> <p style="text-align: right;"><small>© Siemens AG - all rights reserved - J. Müller, 2003</small></p>

### Mögliche Eigenschaften von Interaktionsmechanismen

- **Konvergenz:** Garantiert das Protokoll den erfolgreichen Abschluss der Interaktion?
- **Maximieren des „Wohlstandes“:** Maximiert das Protokoll die Summe der Nutzenwerte der beteiligten Agenten?
- **Pareto-Effizienz:** Garantiert das Protokoll eine Lösung, die kein Agent für sich verbessern kann, ohne zumindest den Nutzen eines anderen Agenten zu verschlechtern?
- **Individuelle Rationalität:** Ist es die rationale Wahl aller Agenten, die durch das Protokoll gegebenen Regeln zu befolgen?
- **Stabilität:** Bietet das Protokoll allen Agenten einen Anreiz, sich in einer gewissen (erwünschten) Weise zu verhalten? (s. Nash-Gleichgewicht)

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

### Weitere Eigenschaften von Interaktionsmechanismen

- **Einfachheit:** Macht es das Protokoll den teilnehmenden Agenten einfach, die optimale (oder angemessene) Strategie zu finden?
- **Effizienz der Kommunikation:** Kann durch das Protokoll eine Lösung mit möglichst geringem Kommunikationsaufwand gefunden werden?
- **Robustheit:** Bietet das Protokoll eine gewisse Toleranz gegen den Ausfall einzelner Teilnehmer? (Kein „Single point of failure“)
- **Symmetrie und Fairness:** Behandelt das Protokoll alle Teilnehmer gleich, oder werden einzelne Teilnehmer prinzipiell bevorzugt?

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

## 6.2 Kollaborative Entscheidung durch Voting

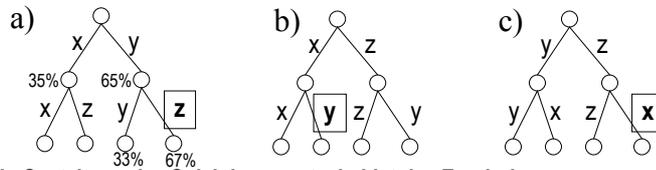
- Ein gebräuchlicher Mechanismus der kollektiven Entscheidungsfindung ist Voting.
- Beim Voting haben die einzelnen Agenten einer Gruppe unterschiedliche Präferenzen über mögliche Ergebnisse
- Eine zentrale Stelle kennt diese Präferenzen, oder die Agenten offenbaren ihre Präferenzen wahrhaft (Annahme!)
- Eine soziale Auswahl-Funktion aggregiert die Präferenzen und trifft eine Entscheidung
- Die Entscheidung gilt für alle Agenten der Gruppe als bindend

## Binäres Voting-Protokoll

- Die möglichen Alternativen „spielen gegeneinander im K.O. - System“
- Die Entscheidung wird durch die soziale Auswahlfunktion getroffen
- Das binäre Voting-Protokoll hat eine Reihe von Nachteilen, wie das folgende Beispiel zeigt

## Das Spielplan-Paradoxon

- Seien  $x, y, z$  mögliche Ergebnisse
- Sei die Gruppe der Agenten in drei Teilgruppen unterteilt:
  - Gruppe 1:  $x > z > y$  (35% der Gesamtgruppengröße)
  - Gruppe 2:  $y > x > z$  (33%)
  - Gruppe 3:  $z > y > x$  (32%)
- Betrachte folgende drei Spielplan-Varianten:



→ Die Gestaltung des Spielplanes entscheidet das Ergebnis

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

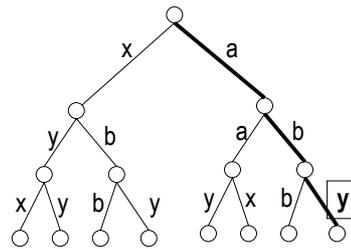
## Weiteres Problem mit Binärem Protokoll

- Annahme: Alternative  $z$  ist nicht relevant für die Entscheidung
- Durch das Hinzufügen von  $z$  als Alternative kann sich das Resultat ändern
- Betrachte Fälle b) und c):
  - $Z$  ist irrelevant, weil es in keinem der beiden Fälle gewinnt
  - Aber: Wenn  $z$  zuerst auf  $x$  trifft, gewinnt  $y$ ; wenn  $z$  zuerst auf  $y$  trifft, gewinnt  $x$

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

### Das Paradoxon der pareto-dominierten Gewinner

- Seien  $a, b, x, y$  mögliche Ergebnisse
- Sei die Gruppe der Agenten in drei (gleich große) Teilgruppen unterteilt:
  - Gruppe 1:  $x > y > b > a$
  - Gruppe 2:  $a > x > y > b$
  - Gruppe 3:  $b > a > x > y$



- $y$  gewinnt, obwohl jeder  $x$  vorzieht ....

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

### Borda-Protokoll

- Versuch, die oben beobachteten Probleme zu umgehen
- Seien  $x_1, \dots, x_n$  die möglichen Ergebnisse, dann vergibt jeder Agent  $n$  Punkte für die für ihn beste Option,  $n-1$  für die zweitbeste usw.
- Die Summe der Punkte werden für alle Ergebnisse berechnet, das Ergebnis mit den meisten Punkten gewinnt
- Obiges Beispiel:
  - X erhält  $3 * 0.35 + 2 * 0.33 + 1 * 0.32 = 2,03$  Punkte
  - Y erhält 1,98 Punkte
  - Z erhält 1,99 Punkte
- → Mit dem Borda-Protokoll wäre im Beispiel  $x$  der Sieger

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

### Paradox der umgekehrten Reihenfolge

- Seien  $a, b, c, x$  mögliche Ergebnisse
- Seien die Agenten in gleich große Gruppen aufgeteilt wie folgt:
  - Gruppe 1:  $x > c > b > a$
  - Gruppe 2:  $a > x > c > b$
  - Gruppe 3:  $b > a > x > c$
  - Gruppe 4:  $x > c > b > a$
  - Gruppe 5:  $a > x > c > b$
  - Gruppe 6:  $b > a > x > c$
  - Gruppe 7:  $x > c > b > a$
- Die Borda-Werte sind:  $x=22, a=17, b=16, c=15$
- Lässt man Ergebnis  $x$  weg, so gilt:  $c=15, b=14, a=13$ 
  - (Da  $c$  immer hinter  $x$  liegt, verliert es keine Punkte durch Wegfall von  $x$ )

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

### Auch die Borda-Regel ist anfällig bei irrelevanten Alternativen

- Seien  $x, y, z$  mögliche Ergebnisse
- Drei Gruppen von Agenten
  - Gruppe 1:  $x > z > y$  (35%)
  - Gruppe 2:  $y > x > z$  (33%)
  - Gruppe 3:  $z > y > x$  (32%)
- Wie zuvor beschrieben, ist der Gewinner nach dem Borda-Protokoll  $x$
- Durch Entfernen von  $z$  wird  $y$  zum Borda-Gewinner

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

### Das Paradoxon des Mehrheitsgewinners

- Die Borda-Regel verletzt in manchen Fällen das Prinzip des Mehrheitsgewinners
- Beispiel: 7 Gruppen von Agenten
  - Gruppe 1:  $a > b > c$
  - Gruppe 2:  $a > b > c$
  - Gruppe 3:  $a > b > c$
  - Gruppe 4:  $b > c > a$
  - Gruppe 5:  $b > c > a$
  - Gruppe 6:  $b > a > c$
  - Gruppe 7:  $c > a > b$
- Gewinner nach der Mehrheitsregel für jedes binäre Protokoll: a
- Borda-Werte:  $b=16, a=15, c=11$

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

### Gibt es einen wünschenswerten Weg, Präferenzen mehrerer Agenten zu aggregieren?

- Sei  $E$  eine Menge von Ergebnissen
- Sei  $A$  Menge von Agenten
- Jeder Agent  $i \in A$  hat eine (totale) Präferenzordnung  $R_i$  über  $E$
- Sei  $R = (R_1, \dots, R_{|A|})$
- Sei  $G(R, E)$  die soziale Auswahlfunktion

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

## Arrow's Theorem

- **Mögliche Desiderata für G:**
  1. Erfüllt Pareto-Prinzip: wenn jeder Agent  $x$  ggü.  $y$  präferiert, dann bevorzugt auch  $G(R,E)$   $x$  vor  $y$
  2. Unabhängigkeit von irrelevanten Alternativen: wenn  $G(R,E)$   $x$  vor  $y$  präferiert und  $R'$  ein anderes Präferenzprofil ist, so dass die Präferenz jedes Agenten zwischen  $x$  und  $y$  in  $R'$  dieselbe ist wie in  $R$ , dann bevorzugt auch  $G(R',E)$   $x$  vor  $y$
  3. Nicht-diktatorisch: Kein einzelner Agent in  $A$  bestimmt die Präferenzen für jedes Paar  $x,y$  in  $E$
- **Arrow's Unmöglichkeitstheorem: Für  $|E| \geq 3$  gibt es keine soziale Auswahlfunktion  $G$ , die die Anforderungen 1-3 erfüllt**

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

## 6.3 Auktionen

- Eine spezielle marktbasierende Interaktionsform sind Auktionen
- Erste Auktionen in der menschlichen Gesellschaft: ca. 2000 vor Christus Versteigerung heiratsfähiger Frauen in Babylon.
- Eine Auktion findet statt zwischen einem Auktionator und einer Menge von Bieter
- Ziel der Auktion: Auktionator allokiert das zu versteigernde Gut zu einem der Bieter
- In den meisten Fällen ist das Ziel des Auktionators, den Preis zu maximieren (z.B. im Auftrag eines Verkäufers), wohingegen die Bieter danach streben, den Preis zu minimieren.
- Auktionen eignen sich aufgrund ihrer Einfachheit gut zur Automatisierung

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

## Dimensionen einer Auktion

- **Beschreibung der Güter:**
  - Öffentlicher/objektiver Wert: z.B., eine Euro-Münze
  - Subjektiver Wert: z.B. die erste gedruckte Euro-Münze
  - Korrelierter Wert: Teilweise subjektiv, teilweise objektiv (z.B. Kauf eines Gemäldes mit Weiterverkaufsoption)
- **Bestimmung des Preises:**
  - First-price: Der beste Bieter zahlt sein Gebot
  - Nth-price: Der beste Bieter zahlt den Preis des N-t-höchsten Gebotes
- **Gebotseinreichung:**
  - Öffentlich („Open Cry“)
  - Geheim („Sealed Bid“)
- **Gebotsprozess:**
  - One-shot; aufsteigende Gebote; absteigende Gebote

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

## Wichtigste Auktionsformen

- Englische Auktion
- Holländische Auktion
- First-Price Sealed-Bid (FPSB) Auktion
- Vickrey-Auktion
  
- Daneben gibt es eine Vielzahl weiterer Auktionstypen

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

### Englische Auktion (first-price, open cry, aufsteigend)

- **Protokoll:** Jeder Bieter kann jederzeit sein Gebot erhöhen. Wenn kein Bieter erhöht, ist die Auktion beendet und der Bieter mit dem höchsten Gebot gewinnt.
- **Preis:** Betrag des höchsten Gebotes
- **Strategie:** Folge von Geboten als Funktion der Valuierung des Agenten, seiner Schätzungen der Valuierungen der anderen Bieter, und der abgegebenen Gebote.
- **Gewinnstrategie:** (Für Private-Value Auktionen) Biete immer einen kleinen Betrag höher als das momentan höchste Gebot; höre auf zu bieten, wenn der Preis der privaten Valuierung erreicht ist.
- **Einsatz:** Versteigerung von Kunstwerken, Wein

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

### First-Price Sealed-Bid (FPSB) Auktion

- **Jeder Bieter gibt ein Gebot ab, ohne die Gebote der anderen zu kennen.** Bieter mit dem höchsten Gebot erhält Zuschlag.
- **Zu zahlender Preis:** Betrag des höchsten Gebotes
- **Vorteil:** Nur eine Gebotsrunde nötig
- **Strategie:** Gebot als Funktion des Valuierung des Agenten und seiner Schätzungen der Valuierungen der anderen Bieter
- **Gewinnstrategie:** im allgemeinen keine dominante Strategie
  - Anfällig für Lügen ("down-biasing") und Gegenspekulation
  - Unter bestimmten Annahmen (Gemeinsames Wissen über Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Valuierungen) sind Strategien bekannt, die im Nash-Gleichgewicht liegen.
- **Einsatz:** bis 1993 Verkauf US-Staatsanleihen

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

### Holländische Auktion (first-price, open cry, absteigend)

- **Protokoll:** Auktionär verringert kontinuierlich den Preis, bis ein Bieter sein Einverständnis anzeigt
- **Preis:** Der letzte ausgerufene Betrag
- **Strategisch äquivalent zu FPSB Strategie, d.h.**
  - Strategische Information ist erst dann verfügbar, wenn es zu spät ist.
  - keine dominante Strategie
  - anfällig für Lügen und Gegenspekulation
- **Einsatz:** Verkauf von Blumen und Lebensmitteln (Holland)

### Vickrey-Auktion (second-price, sealed bid, aufsteigend)

- **Protokoll:** Jeder Bieter gibt ein Gebot ab, ohne die Gebote der anderen zu kennen. Bieter mit dem höchsten Gebot erhält Zuschlag.
- **Preis:** Betrag des zweithöchsten Gebotes
- **Gewinnstrategie:** Unter bestimmten Annahmen (1-shot, risikoneutrale Bieter, trusted Auktionär, keine Möglichkeit zu Preisabsprachen) ist die dominante Strategie für einen Bieter, seine wahre Valuation des Gutes zu bieten.
- **Einsatz:** Devisenhandel, seit 1993: US-Staatsanleihen

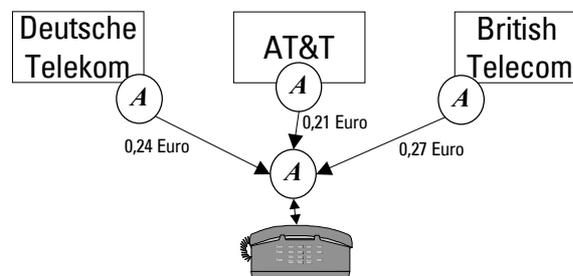
### Vorteile der Vickrey-Auktion

- Die dominante Strategie für einen Bieter in der Vickrey-Auktion ist (unter den bereits beschriebenen Umständen), seine tatsächliche Bewertung zu bieten
- Keine Gegenspekulation
- Unabhängig vom Plänen, Umgebung, Fähigkeiten anderer
- Nur eine Angebotsrunde

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

### Beispiel: Auktion für Telekommunikationsdienste (Call-by-Call)

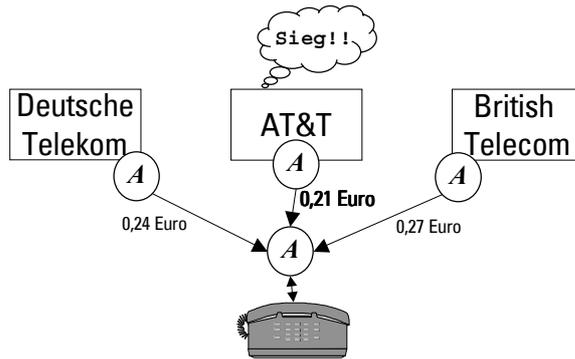
- Kunde möchte Ferngespräch führen
- Betreiber bieten simultan (Preisgebote)
- "Telefonagent" wählt günstigsten Anbieter



© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

### 1. Fall: FPSB-Auktion

- Telefonagent wählt billigsten Anbieter
- Betreiber erhält den seinem Gebot entsprechenden Betrag



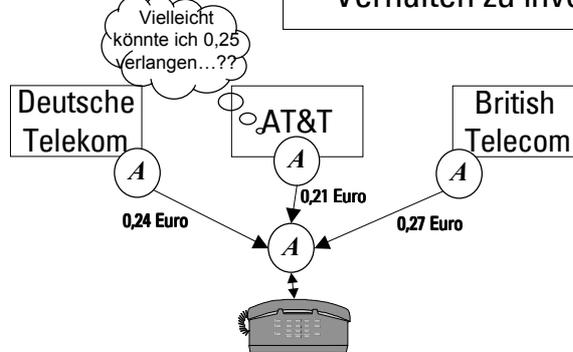
© Siemens AG - all rights reserved - J. Müller, 2003

CORPORATE TECHNOLOGY

### Eigenschaften des Auktionsmechanismus

- ✓ Verteilt ✗ Stabil
- ✓ Symmetrisch ✗ Einfach
- ✗ Effizient

Bieter haben Anreiz, Anstrengung in strategisches Verhalten zu investieren

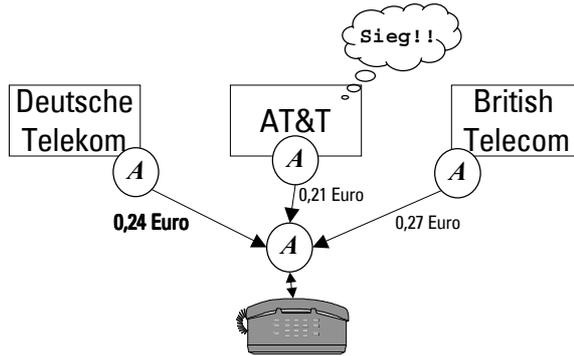


© Siemens AG - all rights reserved - J. Müller, 2003

CORPORATE TECHNOLOGY

### Vickrey-Auktion

- Telefonagent wählt billigsten Anbieter
- Betreiber erhält den Betrag des zweitbesten Gebotes



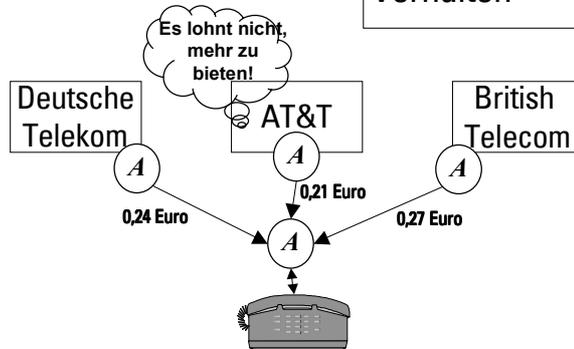
© Siemens AG - all rights reserved - J. Müller, 2003

CORPORATE TECHNOLOGY

### Eigenschaften der Vickrey-Auktion

- ✓ Verteilt ✓ Stabil
- ✓ Symmetrisch ✓ Einfach
- ✓ Effizient

Bieter haben **keinen** Anreiz zu strategischem Verhalten



© Siemens AG - all rights reserved - J. Müller, 2003

CORPORATE TECHNOLOGY

### Eigenschaften von Auktionen mit subjektiver Wert-Annahme

- Holländisch strategisch äquivalent mit FPSB
- Risiko-neutrale Agenten: Vickrey strategisch äquivalent mit Englischen Auktion
- Englische und Vickrey-Auktion haben dominante Strategien
  - kein unnötiger Aufwand für Gegenspekulation
- Einfluss der Risikobereitschaft der Bieter auf die Gewinnerwartung des Auktionärs
  - Risiko-neutrale Bieter: Holländisch  $\approx$  FPSB  $\approx$  Englisch  $\approx$  Vickrey
  - Risiko-scheue Bieter: Holländisch, FPSB  $\geq$  Vickrey, Englisch

### Eigenschaften von Auktionen mit öffentlicher Wertannahme

- Holländisch strategisch äquivalent mit FPSB
- Vickrey NICHT strategisch äquivalent zur Englischen Auktion
- Der Fluch des Gewinners
  - Common value-Auktionen: Tendenziell zahlt der Gewinner einen überhöhten Preis
  - Agenten sollten auch in Vickrey und Englischen Auktionen vorsichtig bieten (= lügen)
- Für  $\geq 2$  Bieter sind die erwarteten Gewinne für den Auktionär nicht äquivalent:
  - Englisch  $\geq$  Vickrey  $\geq$  Holländisch = FPSB

## 6.4 Einigung durch Verhandlung

- Die Einsatzmöglichkeiten für Auktionen beschränken sich auf die effektive Allokation von Gütern.
- Wir benötigen ausdrucksstärkere Techniken, um andere Formen von Einigungsprozessen zu modellieren
- Wir betrachten die Automatisierung von Verhandlungsprozessen
- Verhandlungsführung ist der Prozess zum Erzielen einer Einigung in einer Sache zwischen zwei oder mehreren Parteien

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

## Verhandlungsmodell

Verhandlung wird durch vier Komponenten beschrieben

- Der Verhandlungsbereich: Menge der möglichen Ergebnisse der Verhandlung
- Ein Verhandlungsprotokoll: beschreibt die Interaktionsregeln.
- Verhandlungsstrategien: Jeder Agent besitzt eine private Verhandlungsstrategie, die seine Aktionen im Rahmen des Verhandlungsprotokolls bestimmt.
- Eine Regel, die bestimmt, wann eine Einigung erzielt wurde und die die Einigung (den „Deal“) beschreibt,

Verhandlungsprozesse laufen typischerweise in mehreren Runden ab,

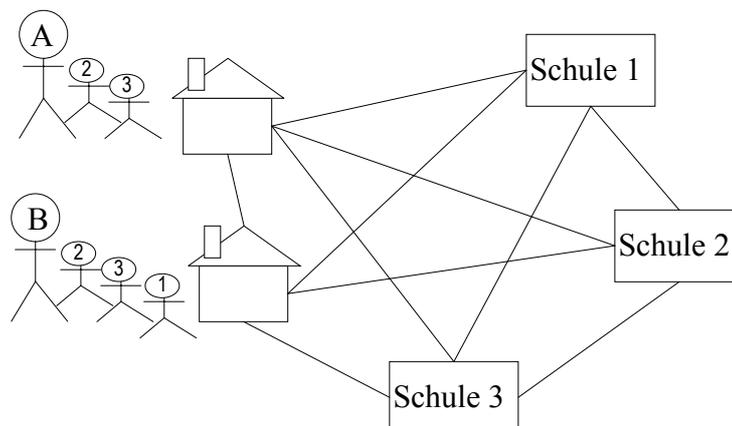
© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

## Domänentypen in Multiagentensystemen

- Wir unterscheiden drei Klassen von Problemdomänen
  - Aufgabenorientierte Domänen
  - Zustandsorientierte Domänen
  - Wertorientierte Domänen
- Diese Unterscheidung ist nicht vollständig, aber deckt ein breites Spektrum von Realwelt-Interaktionen in Multiagentensystemen ab
- Für unterschiedliche Domänen sind unterschiedliche Verhandlungsprotokolle angemessen
- Wir gehen in diesem Kapitel detailliert auf aufgabenorientierte Domänen ein

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

## Verhandlung in aufgabenorientierten Domänen



- Beispiel: Zwei benachbarte Familien müssen jeden Morgen ihre Kinder in (unterschiedliche) Schulen fahren

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

### Charakterisierung aufgabenorientierter Domänen

- Gegenstand der Verhandlung: Durchzuführende Aufgaben
- Jeder Agent kann die gestellten Aufgaben selbst erfüllen.
- Der schlechteste Fall im obigen Beispiel ist, dass sich die beiden Nachbarn nicht z.B. auf eine Fahrgemeinschaft einigen können
- D.h. in aufgabenorientierten Domänen können Agenten durch die Aktionen anderer Agenten nur profitieren, aber keinen Schaden haben.
- Möglichkeit zur Kooperation

### Formales Modell

- Eine aufgabenorientierte Domäne (AOD) ist ein Tripel

$$(T, Ag, c),$$

mit:

- T (endliche) Menge aller möglichen Aufgaben
- Ag = {1,...,n} Menge aller teilnehmenden Agenten
- C:  $\wp(T) \rightarrow \mathfrak{R}^+$  ist eine Funktion, die die Kosten für eine Teilmenge von Aufgaben definiert.
- Eine Aufgabenbeschreibung ist ein n-Tupel von Aufgaben  $(T_1, \dots, T_n)$  mit  $T_i \subseteq T$  für jedes  $i \in Ag$ .
- Aufgabenbeschreibungen in einer AOD sind die Kandidaten für „Deals“ zwischen den Agenten.

## Deals in AOD

- Für eine Aufgabenbeschreibung  $(T_1, T_2)$  ist ein Deal eine Zuordnung der Aufgaben in  $T_1 \cup T_2$  zu den Agenten 1 und 2.
- Die Kosten eines Deals  $d = (D_1, D_2)$  für Agent  $i$  sind  $c(D_i)$ . Wir bezeichnen sie mit  $cost_i(d)$
- Der Nutzen eines Deals  $d$  für Agent  $i$  ist:  

$$u_i(d) = c(T_i) - cost_i(d)$$
- Der Konfliktdeal  $D$  ist der Deal  $(T_1, T_2)$ , der aus den Mengen der ursprünglich den beiden Agenten 1 und 2 zugeteilten Aufgaben besteht.
- Beachte: Es gilt:  $u_i(D) = 0$  für alle  $i \in Ag$
- Ein Deal  $d$  ist individuell rational, wenn er den Konfliktdeal schwach dominiert.

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

## Typen von AODs

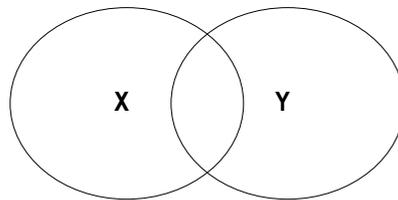
- Bedingt durch unterschiedliche mathematische Eigenschaften der Kostenfunktion unterscheiden wir drei Klassen von AODs
  - Subadditive AODs
  - Konkave AODs
  - Modulare AODs
- Es besteht eine hierarchische Beziehung zwischen den Klassen, d.h., für eine AOD  $X$  gilt:
  - $X$  modular  $\Rightarrow$   $X$  konkav
  - $X$  konkav  $\Rightarrow$   $X$  subadditiv
- In der Folge werden wir diese Eigenschaften kurz beschreiben

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

## Subadditive AODs

- Für subadditive AODs gilt:  
Durch die Kombination zweier Aufgaben X und Y können die gemeinsamen Kosten ggü. der isolierten Ausführung verringert, aber nie erhöht werden

$$c(X \cup Y) \leq c(X) + c(Y)$$

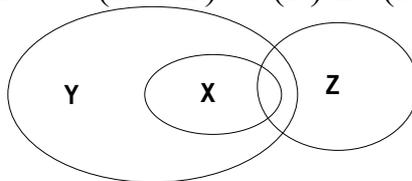


© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

## Konkave AODs

- Für konkave AODs gilt: Die zusätzlichen Kosten für die gemeinsame Ausführung einer Menge Z von Aufgaben mit einer Menge Y von Aufgaben kann nicht größer sein als die zusätzlichen Kosten von Z für eine Teilmenge X von Y
- Wenn X und Z bekannt, kann man die Bezugsmenge X relativ unbedenklich erweitern; der durch Z zusätzlich verursachte Aufwand wird sich nicht erhöhen

$$X \subseteq Y \Rightarrow c(Y \cup Z) - c(Y) \leq c(X \cup Z) - c(X)$$

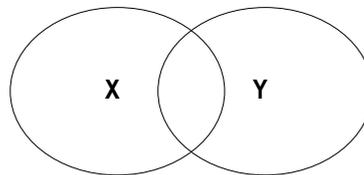


© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

### Modulare AODs

- Für modulare AODs gilt: Die Kosten für die kombinierte Ausführung von zwei Aufgabenmengen X und Y entspricht genau der Summe ihrer individuellen Kosten minus der Kosten ihrer Schnittmenge
- D.h. nur die Schnittmenge von zwei Aufgabenmengen sind bedeutsam für die Verhandlung

$$c(X \cup Y) = c(X) + c(Y) - c(X \cap Y)$$



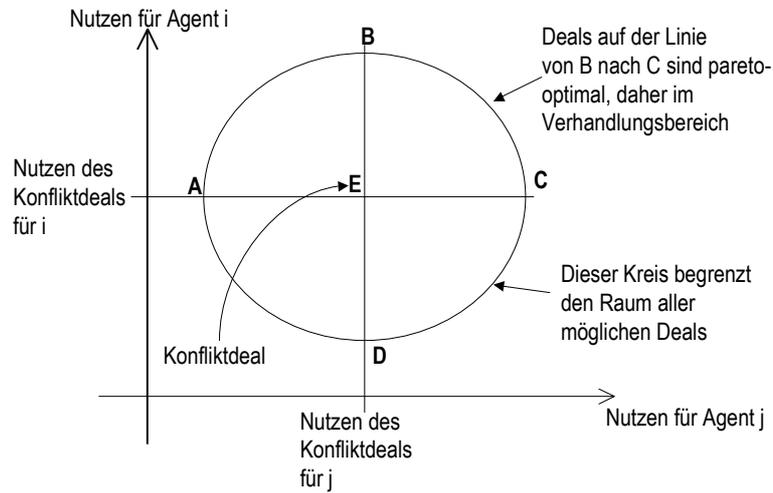
© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

### Der Verhandlungsbereich

- Definiert durch die Menge der Deals, über die die Agenten verhandeln.
- Diese Deals sind individuell rational und pareto-effizient

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

### Illustration des Verhandlungsbereichs



© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

### Monotonic Concession Protokoll (MCP)

- Protokoll zum Finden von Lösungen für bilaterale AODs
- Verhandlung wird in mehreren Durchgängen geführt
- Zu Beginn schlagen beide Agenten simultan je einen Deal aus dem Verhandlungsbereich vor.
- Eine Einigung besteht dann, wenn die beiden Agenten Deals  $d_1$  bzw  $d_2$  vorschlagen wobei:  $u_1(d_2) \geq u_1(d_1)$  oder  $u_2(d_1) \geq u_2(d_2)$ .  
D.h., einer der beiden Agenten beurteilt den Vorschlag des anderen besser als seinen eigenen.
- Im Fall einer Einigung: wenn beide Agenten bessere Deals vorschlagen als der jeweils andere, wird einer davon zufällig gewählt; ist nur einer besser als der des anderen, ist dieses der Ergebnis-Deal.

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

CORPORATE TECHNOLOGY	<b>SIEMENS</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wenn keine Einigung erzielt wird, geht die Verhandlung in die nächste Runde. Dabei darf in Runde n+1 kein Agent einen Deal vorschlagen, der für den anderen einen geringeren Nutzen bietet als der Vorschlag, den er in Runde n vorgeschlagen hat.</li> <li>• Macht in einer Runde <math>n &gt; 0</math> keiner der Agenten einen solchen Vorschlag (Zugeständnis = Concession), dann endet die Verhandlung mit dem Konflikt-Deal.</li> </ul> <p style="text-align: right; font-size: small;">© Siemens AG - all rights reserved - J. Müller, 2003</p>

CORPORATE TECHNOLOGY	<b>SIEMENS</b>
	<p style="text-align: center;"><b>Eigenschaften des MCPs</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Das MCP ist verifizierbar: es ist leicht für beide Parteien zu beurteilen, ob die Regeln des Protokolls eingehalten wurden.</li> <li>• Das MCP ist symmetrisch, d.h., kein Partner wird inhärent bevorzugt</li> <li>• Das MCP terminiert nach einer endlichen Anzahl von Runden (da die Anzahl der möglichen Deals endlich).</li> <li>• Das MCP garantiert keine effiziente Ergebnisfindung. Die Anzahl der möglichen Deals ist in <math>O(2^{ T })</math>; d.h., die Anzahl der Runden kann im Worst-Case exponentiell in der Anzahl der zu zuordnenden Aufgaben sein.</li> </ul> <p style="text-align: right; font-size: small;">© Siemens AG - all rights reserved - J. Müller, 2003</p>

## Strategien für das MCP

- **Fragen zur Strategie:**
  1. Welchen Vorschlag sollte ein Agent als erstes machen?
  2. Wer sollte in einer beliebigen Runde der Verhandlung nachgeben?
  3. Wenn ein Agent beschließt, nachzugeben: um welchen Betrag sollte er nachgeben?
- **Zu 1. Ein Agent sollte mit dem Deal beginnen, der für ihn den höchsten Nutzen hat.**
- **Zu 2. Der Agent, der am wenigsten gewillt ist, einen Konflikt zu riskieren (d.h., der am meisten zu verlieren hat, wenn die Verhandlung scheitert)**
- **Zu 3. So wenig wie möglich, aber genug, um die Risiko-Bilanz zu ändern (d.h., damit beim nächsten Mal der andere Agent nachgibt)**

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

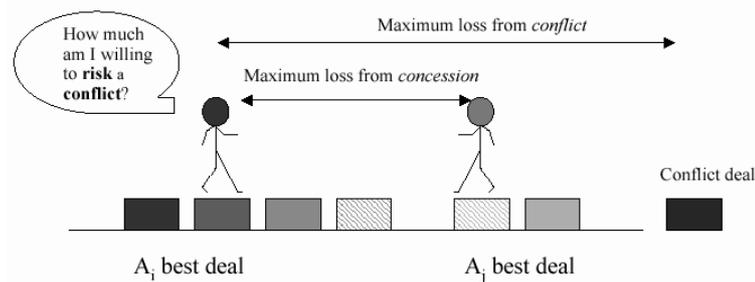
## Riskobereitschaft beim MCP

- **Wer sollte in einer Runde nachgeben??**
- **Intuitiv: Agent ist eher bereit, einen Konflikt zu riskieren, wenn er schon viel nachgegeben hat und der Unterschied im Nutzen zwischen seinem momentanen Vorschlag und dem Konflikt-Deal gering ist (d.h., er nicht viel zu verlieren hat).**
- **Bereitschaft eines Agenten, in Runde t einen Konflikt zu riskieren, wird gemessen durch den Quotienten aus:**
  - dem Nutzen, den der Agent i verliert, wenn er nachgibt und das Angebot von Agent j akzeptiert und
  - dem Nutzen, den Agent i verliert, wenn er nicht nachgibt und dadurch einen Konflikt verursacht

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

## Visualisierung

Agent  $A_i$  hat mehr zu verlieren, wenn die Verhandlung scheitert, als Agent  $A_j$ , d.h., er sollte weniger risikofreudig sein und mehr nachgeben.  
Agent  $A_j$  sollte mehr riskieren, weil er schon mehr nachgegeben hat,



© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

## Die Zeuthen-Strategie

- Die zuvor beschriebene, aus den Schritten 1-3 bestehende Strategie heißt Zeuthen-Strategie
  - Die Zeuthen-Strategie ist im Nash-Gleichgewicht, d.h., unter der Annahme, dass ein Agent sie verwendet, ist das beste, was der andere Agent tun kann, sie auch zu verwenden.
- „This is of particular interest to the designer of automated agents. It does away with any need for secrecy on the part of the programmer. An agent's strategy can be publicly known, and no other agent designer can exploit the information by choosing a different strategy. In fact, it is desirable that the strategy be known, to avoid inadvertent conflicts.“

(Rosenschein and Zlotkin, Rules of Encounter, 1994, MIT Press, p.46)

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

## MCP und Zeuthen-Strategie: Bewertung

### • Vorteile:

- Einfach
- Herangehensweise intuitiv, analog der menschlichen Denkweise
- Stabil (im Nash-Gleichgewicht, d.h., wenn ein Agent die Strategie spielt, ist es für den anderen rational, dies auch zu tun)

### • Nachteile

- Rechenaufwändig: die Partner müssen den gesamten Verhandlungsbereich berechnen
- Kommunikationsintensiv: der Verhandlungsvorgang geht in der Regel über mehrere Stufen / Iterationen

## Täuschung in AOD

- In AOD kann es für Agenten rational sein, andere Agenten zu täuschen
- *Phantomaufgaben*: Hier behauptet der Agent, Aufgaben zugeteilt zu haben, die er in Wahrheit überhaupt nicht hat.  
(Gegenmaßnahme: Verifizierbarkeit der Aufgabenzuteilung)
- *Versteckte Aufgaben*: In manchen Fällen kann ein Agent davon profitieren, Aufgaben die er hat, vor anderen zu verbergen.
- Ziel des Mechanismendesigns: Entwickeln von Protokollen, bei denen es die rationale Strategie aller Agenten ist, die Wahrheit zu sagen

### Zustandsorientierte Domänen (ZOD)

- Agenten haben das Ziel, die Umgebung in einen Zielzustand zu überführen
- Es können dabei Konflikte auftreten, z.B. durch Wettbewerb um Ressourcen
- Es kann sein, dass keine Lösung existiert, die die Ziele aller Agenten erfüllt, oder dass eine solche Lösung existiert, diese aber sehr teuer ist und von einzelnen Agenten „Mehrarbeit“ verlangt
- Beispiel: Multiroboter-Blockswelt
- Zusammenhang zwischen ZOD und AOD: ZOD sind echte Obermenge von AOD, d.h., jede AOD ist auch eine ZOD, aber nicht umgekehrt
- D.h., Verhandlungsmechanismen mit gewissen Eigenschaften in AOD müssen diese nicht unbedingt auch in ZOD haben

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

### Wertorientierte Domänen (WOD)

- Agenten weisen jedem möglichen Zustand der Umgebung (jeder Lösung) einen Wert zu, der ihre Präferenz widerspiegelt
- Vorteil von WOD: es besteht die Möglichkeit eines Kompromisses im Sinne einer teilweisen Erreichung der Ziele. Auf diese Art und Weise kann manchmal eine Verbesserung der Gesamtlösung erreicht werden.
- WOD sind eine Verallgemeinerung von ZOD: in ZOD ist die Wertfunktion binär.
- D.h., Verhandlungsmechanismen mit gewissen Eigenschaften in ZOD müssen diese nicht unbedingt auch in WOD haben

© Siemens AG - all rights reserved -  
J. Müller, 2003

**Lerninhalte dieses Kapitels**

- **Einführung des Designs von Marktmechanismen als grundlegendes Forschungsthema in Multiagentensystemen, d.h. Systemen, die aus voneinander unabhängig entwickelten autonomen Softwarekomponenten (Agenten) bestehen**
- **Verständnis elementarer Votingprotokolle und ihrer Eigenschaften**
- **Verständnis von Auktionen als effektives Mittel zur Allokation von Ressourcen in dezentralen Systemen; wichtigste Auktionsprotokolle und entsprechende Strategien**
- **Einigung durch Verhandlung in Aufgabenorientierten Domänen**